

اثرات زلزله بر تاسیسات آبرسانی

محمد هوشمندزاده

کارشناس عمران - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز و عضو باشگاه پژوهشگران جوان

hooshmandzadeh_civil@yahoo.com

چکیده

زلزله یکی از مهیب ترین و مهلک ترین پدیده های زندگی بشری است که سالانه خسارات مالی و جانی فراوانی در کشورهای مختلف وارد می کند. بشر همواره به دنبال کاهش آثار مخرب زلزله بر روی ساخته های دست خود بوده است. یکی از این ساخته ها شبکه های آبرسانی می باشند که سالم ماندن آنها پس از وقوع زلزله جهت تامین آب مصدومان و بازماندگان ناشی از زلزله از اهمیت فراوانی برخوردار است. ولی متأسفانه در کشور ما کمتر به این مساله توجه شده است. به همین خاطر و نیز به دلیل لرزه خیز بودن کشورمان استفاده از تجربیات و تحقیقات کشورهای دیگر مانند ژاپن و آمریکا ضروری به نظر می رسد. تحقیقات صورت گرفته و پیشرفت های حاصله در حد مطلوبی بوده ولی تاکنون راه طولانی برای شناخت همه ابعاد آثار زلزله بر شبکه های آبرسانی باقی مانده است.

کلیدواژه ها: زلزله ، ماترس فعالیت ، کرنش ، لس آنجلس ، نیویورک

۱- مقدمه

زمین لرزه که شاید مخرب ترین نیروهای طبیعی باشد پدیده ای طبیعی و یکی از مشخصات سیاره ماست که به تنهایی در سراسر جهان هزاران زندگی را قربانی و میلیاردها دلار خسارات مادی وارد ساخته است. زلزله یکی از مشخصات سیاره ماست که به تنهایی در سراسر جهان هزاران زندگی را قربانی و خسارات مالی فراوانی وارد کرده است و به دلیل گستردگی قلمرو و نیز وسعت و شدت خساراتی که وارد می سازد یکی از شناخته شده ترین بلایای طبیعی جهان است. شبکه های آبرسانی یکی از شریانهای حیاتی بوده که سالم ماندن و حفظ کارایی آنها پس از زلزله تاثیر مهمی دارد.

۲- اهمیت طراحی لرزه ای شبکه های آبرسانی

آسیب پذیری شریانهای حیاتی در مقابل صدمات زلزله در زمینلرزه های گوناگون نشان داده شده است. معرفی سیستم شبکه های آبرسانی به عنوان شریانهای حیاتی بیانگر اهمیت عملکرد آنها در حفظ ایمنی و سلامت عموم می باشد. اگر تاسیسات آبرسانی آسیب ببیند علاوه بر اتلاف خدمات و محصولات آن خطر صدمه به عموم مردم و محیط زیست نیز وجود دارد.

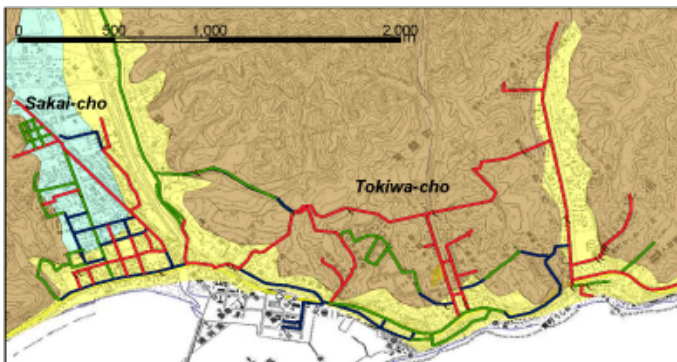
۱-۲- انواع خطوط لوله

بطور کلی خطوط لوله به چهار صورت لوله های صلب و لوله های انعطاف پذیر ، خطوط لوله با اتصالات صلب و اتصال انعطاف پذیر ، خطوط لوله تحت فشار و تحت جریان نقلی و خطوط لوله مدفون و رو زمینی ساخته می شوند.

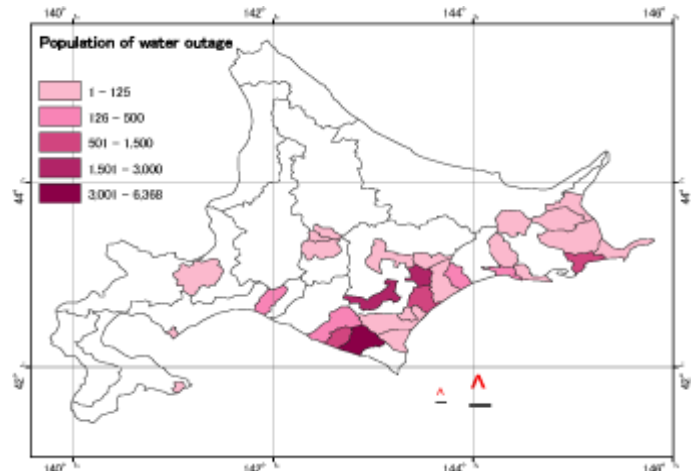
۲-۲- نمونه هایی از آسیبهای وارده به تاسیسات آبرسانی در زلزله های گذشته

در شهر سنتا روسا ایالت کالیفرنیا زلزله ای با شدت ۵/۷ ریشتر در اوایل اکتبر ۱۹۶۹ رخ داد. در این زلزله خسارت های جزئی به مخازن ذخیره آب آشامیدنی ایستگاه های پمپاژ و خسارت های چشمگیر به لوله های توزیع آب وارد شد. در نهم فوریه ۱۹۷۱ در سن فرنادوی کالیفرنیا زلزله ای با شدت ۶/۶ ریشتر بوقوع پیوست. در این زلزله تغییرات بسیار زیادی ، در کیفیت آب آشامیدنی بواسطه خسارت های وارد به چاه ها ، سد ها و کانال ها مشاهده گردید. در بیست و سوم دسامبر ۱۹۷۲ در ماناگوا نیکاراگوا ، زلزله ای با شدت ۶/۲۵ ریشتر رخ داد. در این زلزله در شبکه توزیع آب که شامل لوله های ۱۶ اینچی و لوله های ۴ اینچی پی وی سی بود ، بیشتر از بک صد مورد شکستگی اتفاق افتاد و جریان در بخش شرقی شهر قطع گردید. سقف ایستگاه های پمپاژ آب فرو ریخت و چند مخزن ذخیره آب شهری به شدت آسیب دیدند. در گواتمالا زلزله ای به شدت ۷/۵ ریشتر در چهارم فوریه ۱۹۷۶ بوقوع پیوست. در جریان این زلزله صدمه ها و خسارت های فراوانی به تاسیسات شهری وارد شد. در شهر کاتاباتو جزیره میندیناو فیلیپین با وقوع زلزله ای به شدت ۷/۹ ریشتر ، به علت فرو ریختن یک پل ، شاه لوله تامین آب شهر دچار شکست و آسیب جدی گردید. در بیست و سوم نوامبر ۱۹۷۷ در شهرهای سن ژون و مندوای آرژانتین زلزله ای به شدت ۷/۴ ریشتر بوقوع پیوست. در تاریخ ۲۶ سپتامبر ۲۰۰۳ زلزله ای در ساعت ۴ و ۵ دقیقه صبح به وقت محلی جنوب جزیره هوکایدو در ژاپن در نقطه ای به مختصات ۱۴۴/۷۸ درجه جنوبی و ۱۴۴/۷۸ درجه شمالی اتفاق افتاد. عمق کانونی زلزله ۴۲ کیلومتر بوده است. در تصویر (۱) تراکم تعداد لوله ها را می توان مشاهده نمود. در تصویر (۲) شکست انواع مختلف لوله ها را طی زلزله سال ۱۹۸۲ اوراکاوا-اوکی می توان مشاهده نمود. در این تصویر خطوط

سبز، قرمز و آبی بترتیب معرف لوله های پلی اتیلن، سیمانی و فلزی می باشد. دامنه تغییرات قطر لوله های فلزی بر حسب نوع کاربرد در جدول (۱) آمده است.



تصویر (۲) - وضعیت و موقعیت انواع لوله های آسیب دیده در زلزله اوراکاوا-اوکی (۱۹۸۲)



تصویر (۱) - تراکم تعداد لوله های شکسته شده در زلزله جزیره هوکایدو

کاربرد	نوع لوله	قطر لوله (میلیمتر)	محل آسیب های وارده
انتقال	فلزی	۲۰۰ تا ۴۰۰	جسم لوله
	فلزی	۷۵ تا ۳۰۰	جسم لوله
توزیع	پلی اتیلن	۵۰ تا ۱۰۰	جسم لوله
	سیمانی	۱۰۰	جسم لوله

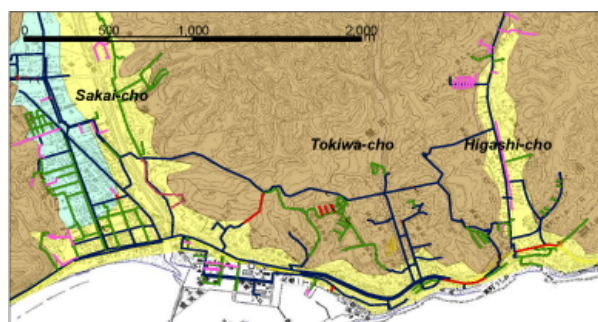
جدول (۱) - مشخصات لوله های آسیب دیده پس از زلزله اوراکاوا-اوکی (۱۹۸۲)

همچنین تعداد شکست لوله ها بر حسب نوع و در واحد کیلومتر برای هر یک از زلزله های اوراکاوا-اوکی (۱۹۸۲) و توکاچی-اوکی (۲۰۰۳) در جدول (۳) ارائه گردیده است.

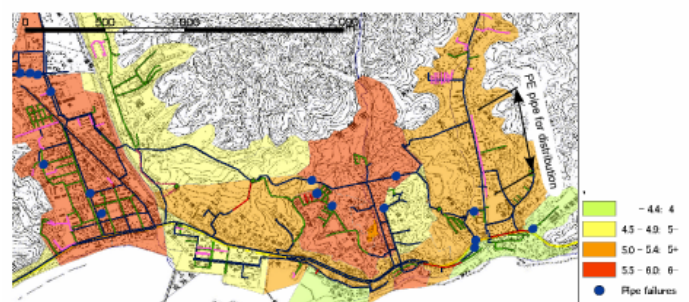
زلزله	نوع لوله			
	سیمانی	پلی اتیلن	فولادی	چدن
توکاچی	۰/۳۳	۰/۰۸	۰	۰/۱۵
اوراکاوا	۰/۶۸	۰/۲۹	۰	۰/۳۹

جدول (۳) - نسبت شکست انواع مختلف لوله در واحد کیلومتر در دو زلزله توکاچی و اوراکاوا

در تصویر (۳) شکست انواع مختلف لوله ها را طی زلزله سال ۲۰۰۳ توکاچی-اوکی می توان مشاهده نمود. در تصویر (۴) شدت زلزله در هر یک از نواحی استقرار انواع مختلف لوله دیده می شود.



تصویر (۳) - وضعیت و موقعیت انواع لوله های آسیب دیده در زلزله توکاچی -اوکی (۲۰۰۳)



تصویر (۴) - شدت زلزله در مناطق مختلف استقرار انواع لوله ها در زلزله توکاچی

در کشور ژاپن، استفاده از لوله های پلی اتیلن پس از زلزله سال ۱۹۹۵ شهر کوبه در سطح وسیعی متداول گردید.

۳-۲- عوامل مؤثر بر آسیب دیدن تاسیسات آبرسانی و شبکه های فاضلاب

عوامل متعددی باعث آسیب دیدن تاسیسات به هنگام زلزله می شوند. با شناخت این عوامل باید برای بهسازی لرزه ای سیستم های لوله کشی راهکارهای مناسبی ارائه گردد. عوامل متعددی بر کیفیت سیستم لوله کشی تاثیر می گذارند. بخشی از این عوامل ناشی از فرایندهای فیزیکی و شیمیایی می باشند. ازدست دادن قابلیت بهره برداری، زمانی که شبکه دیگر توانایی انتقال سیال را نداشته باشد. حتی بدون آنکه نشتی یا شکستگی

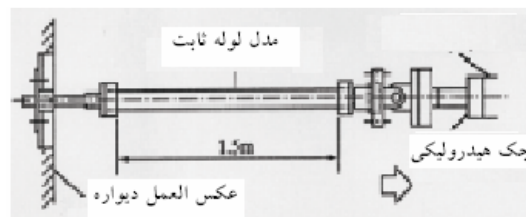
حادث شده باشد. برای مثال زمانی که پمپی آسیب دیده و دیگر نمی توان آن را به سرویس بهره برداری وارد نمود. یا زمانی که کمپرسور روی خط لوله دچار نقص فنی شده یا یک شیر برقی یا شیر کنترل در اثر ضربه و آسیب دیدگی از کار افتاده و دیگر اجازه عبور سیالات از خود را نمی دهد. از دست دادن فشار کافی، این اتفاق می تواند در اثر نشت، شکستگی، ترک یا پارگی جداره لوله به هنگام زلزله بوقوع بپیوندد. از بین رفتن تکیه گاه ها و نگهدارنده های لوله از روی تکیه گاه ها، در این حالت آویزها و نگهدارنده ها سقوط نموده یا کنده شده، تکیه گاه ها از داخل دیوار رها شده و باعث سقوط لوله ها بر روی زمین می شود.

۳- پیشینه تحقیقات انجام شده

تاکنون به موازات رشد و گسترش مهندسی زلزله، تحقیقات زیادی درباره عملکرد لرزه ای تاسیسات آبرسانی در هنگام وقوع زلزله در کشورهای مختلف صورت گرفته است که از آن جمله می توان به موارد مطالعات هوانگ، لین و شینوزوکا^۱ (۱۹۹۸) و سلکوک و یوسمن^۲ درباره عملکرد شبکه های آبرسانی در هنگام وقوع زلزله اشاره نمود. لائو، تانگ و پییر^۳ (۱۹۹۵) از آسیبهای وارده به شریانهای حیاتی شامل شبکه های آب، گاز، برق و ... در زلزله نورتیج نقشه برداری نمودند. تسوجی^۴ (۲۰۰۱) بیان کرد که آسیبهای وارده به شریان های حیاتی با پتانسیل زلزله رابطه دارد.

۴- تحقیقات آزمایشگاهی درباره عملکرد لرزه ای لوله های آبرسانی

در این بخش مطالعات آزمایشگاهی درباره خصوصیات تنش - کرنش لوله های پلی اتیلن ارائه خواهد شد. برای آگاهی از چگونگی رفتار لرزه ای لوله های مدفون می بایست تغییر شکل مجاز این لوله ها با استفاده از ضوابط و معیارهای مهندسی که مبتنی بر ایمنی سازه ای هستند تعیین شده و بنابراین ویژگی های کششی و تنش - کرنش لوله های پلی اتیلن بدست آیند. در تصویر (۵) لوله ای را که بصورت طولی در آزمایشگاه مدلسازی شده است را می توان مشاهده نمود. قطر این لوله ۷۵ میلیمتر و طول آن ۱/۵ متر است. از یک سو به دیوار اتصال داشته و عکس العمل دیوار را تحمل می نماید طرف دیگر به یک جک هیدرولیکی متصل شده است.



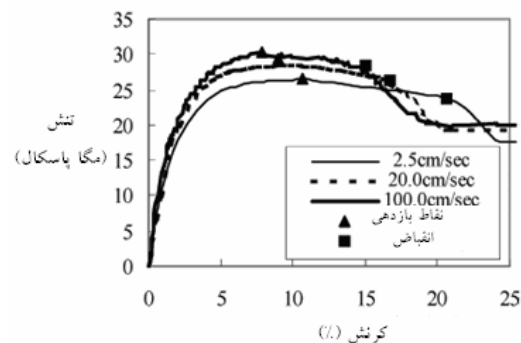
تصویر (۵) - مدل آزمایشگاهی لوله مدفون

۴-۱- منحنی تنش - کرنش

منحنی های تنش - کرنش برای یک لوله ساکن که تحت اثر نیروی کششی قرار گرفته در نمودارهای (۱) و (۲) نمایش داده شده است. بازده کرنش ناشی از کشش بین ۸ تا ۱۰ درصد می باشد. انقباض مقطعی لوله هنگامی اتفاق می افتد که کرنش در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد باشد. بازده کرنش تراکمی بین ۸ تا ۱۰ درصد خواهد بود و در بیشتر از این مقدار، لوله فشرده خواهد شد. همچنین کماتش لوله در شرایطی که کرنش بین ۱۳ تا ۱۵ درصد باشد اتفاق می افتد. آیین نامه JWWA بیان می کند که کرنش دائمی زمین در وضعیت روانگرایی بایستی بین ۱/۲ تا ۲ درصد باشد. نمونه لوله مورد آزمایش در تصویر (۶) نشان داده شده است.



تصویر (۶) - مدل آزمایشگاهی لوله



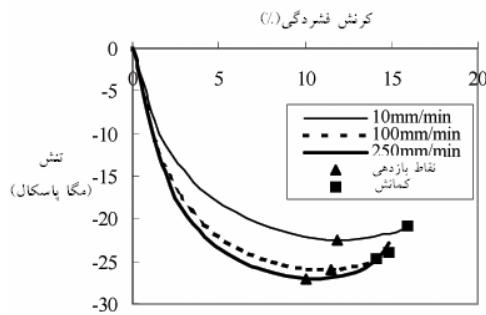
نمودار (۱) - منحنی تنش - کرنش کششی

¹-Hwang-Lin and Shinozuka

²-Selcuk and Yucemen

³-Lau, Tang and Pierre

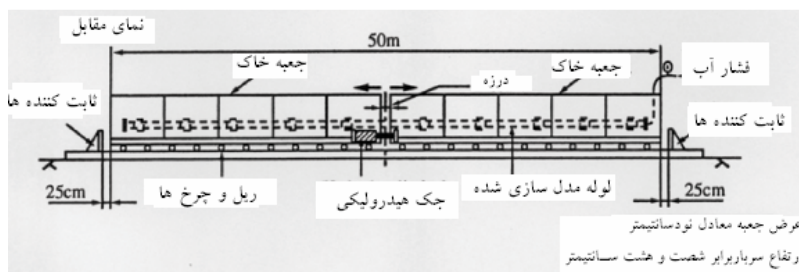
⁴-Tsujie



نمودار (۲) - منحنی تنش - کرنش فشاری

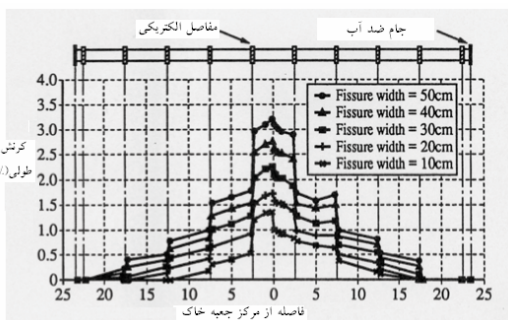
۲-۴- آزمایشاتی برای مشاهده پاسخ لرزه ای لوله ها

اکنون ، دو نمونه با مقیاس واقعی برای شبیه سازی درز و شکاف ها و ناهمواری های زمین جهت بررسی رفتار لرزه ای لوله های پلی اتیلن و جابجایی های موضعی زمین در مقیاس بزرگ در آزمایشگاه مطالعه می شوند. در تصویر (۷) نمونه دستگاه آزمایشگاهی برای بررسی آثار درز و شکاف ها بر رفتار لرزه ای لوله ها قابل مشاهده است. قطر این لوله ۱۰۰ میلیمتر و طول آن ۵۰ متر است. بخش مرکزی لوله از هر طرف بر روی جک های هیدرولیکی که دارای قابلیت ۵۰ سانتیمتر جابجایی نسبی هستند ، استقرار یافته است. طول لوله در دو طرف این قسمت ، ۲۵ متر بوده که توسط جداسازکننده هایی به قسمت های کوچکتر تقسیم شده و برای شبیه سازی درز و شکاف های بزرگ که در هنگام وقوع زلزله بر لوله ها تاثیر می گذارند مورد استفاده قرار گرفته است. سپس توزیع کرنش لوله متناسب با عرض درزه اندازه گیری می شود. لوله در مقابل آب نفوذ ناپذیر بوده و فشار آب ۱ مگاپاسکال می باشد.

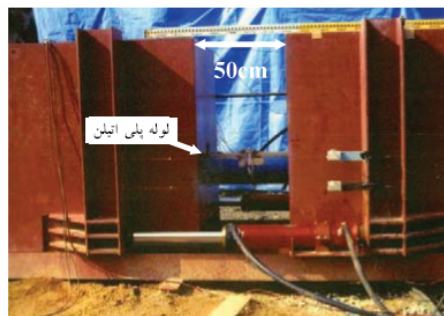


تصویر (۷) - مدل آزمایشگاهی برای بررسی اثر درزه و شکاف ها

در تصویر (۸) و نمودار (۳) می توان بترتیب آزمایش و توزیع طولی کرنش را که متناسب با عرض درزه بوده مشاهده نمود. در این نمودار تعدادی نقاط اوج به شکل پرشی ظاهر شده اند که بیانگر آن است که نیروی مقاوم وارده از سوی زمین به مفصل ها زیاد بوده است.



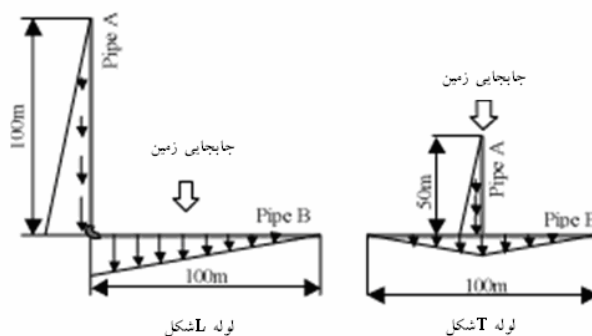
نمودار (۳) - توزیع طولی کرنش



تصویر (۸) - مدل آزمایشگاهی

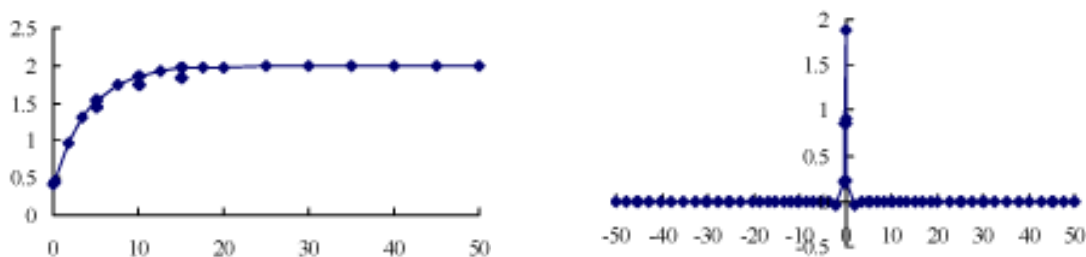
۳-۴- شبیه سازی پاسخ لرزه ای لوله های T و L شکل

در تصویر (۹) مدل تحلیلی لوله های T و L شکل نشان داده شده است. ارتفاع قسمت عمودی لوله L و T شکل بترتیب ۱۰۰ و ۵۰ متر و طول قسمت افقی که با زمین ارتباط دارد برابر ۱۰۰ متر ، کرنش میان قسمت افقی و زمین ۲٪ ، شعاع قسمت زانویی لوله L شکل برابر ۳۰ سانتیمتر می باشد.

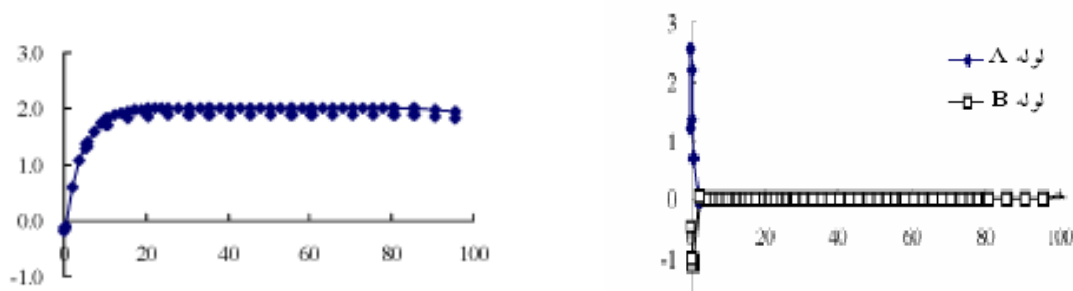


تصویر (۹) - مدل تحلیلی لوله های T و L شکل

توزیع کرنش لوله T شکل در اثر جابجایی زمین در نمودارهای (۴) و (۵) و همچنین توزیع این پارامتر در لوله A شکل در نمودارهای (۶) و (۷) نمایش داده شده است.

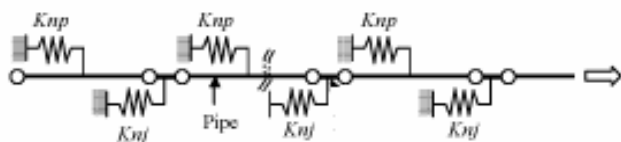


نمودارهای (۴) و (۵) - توزیع کرنش در لوله T شکل



نمودارهای (۶) و (۷) - توزیع کرنش در لوله L شکل

در نمودارهای فوق محور افقی بیانگر فاصله هر نقطه از لوله از نقطه آغازین و محور عمودی معرف کرنش محوری می باشد. هدف از انجام آزمایش های فوق ، بررسی صحت نتایج مدل های تحلیلی می باشند. مدل تحلیلی لوله برای بررسی اثر درزه و شکاف ها در تصویر (۱۰) نمایش داده شده است. لوله بصورت تیری که به پی الاستیک متصل شده مدل سازی شده است. منحنی تنش - کرنش خصوصیات غیر خطی لوله در نمودارهای (۸) و (۹) نشان داده شده است.

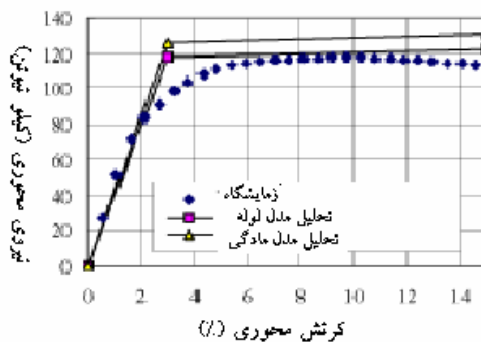


تصویر (۱۰) - مدل لوله برای بررسی اثر درزه و شکاف ها

در نمودار (۸) و (۹) بترتیب معرف خصوصیات فنری خاک و خصوصیات غیر خطی لوله در راستای محوری هستند.

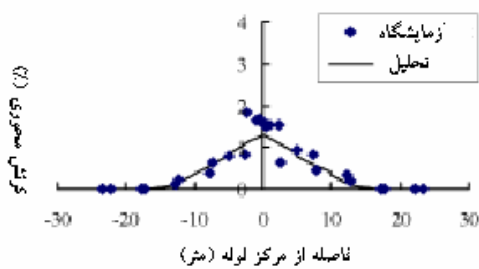


نمودار (۸) - خصوصیات فنری خاک

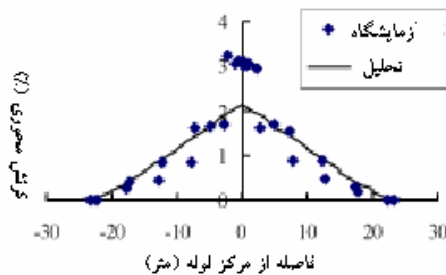


نمودار (۹) - خصوصیات غیر خطی لوله در راستای محوری

در نمودارهای (۱۰) و (۱۱) مقایسه میان توزیع طولی کرنش در دو حالت عرض شکاف بترتیب ۲۰ و ۵۰ سانتیمتر نشان داده شده است.



نمودار (۱۰) - عرض شکاف ۲۰ سانتیمتر

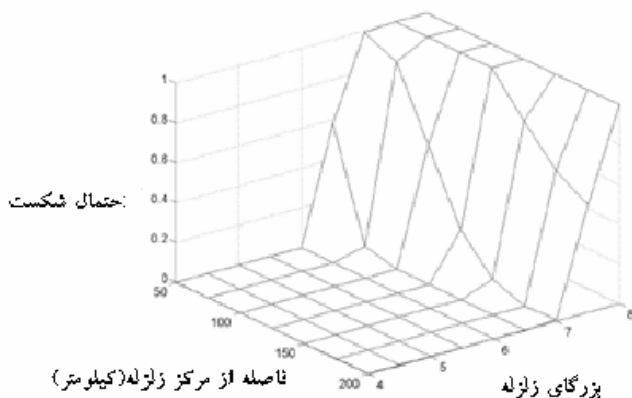


نمودار (۱۱) - عرض شکاف ۵۰ سانتیمتر

۵- آنالیز شکست شبکه های آبرسانی

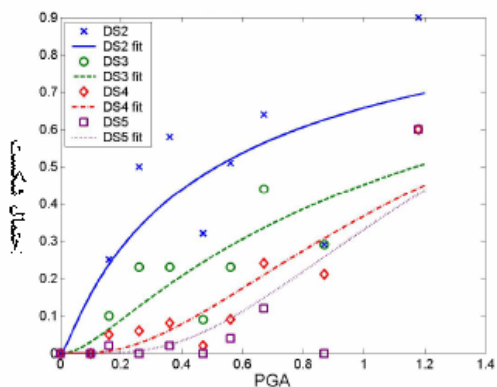
عملکرد لرزه ای شبکه های آبرسانی به کارایی لرزه ای اجزای تشکیل دهنده آن یعنی ، لوله ها ، تانک ها و مخازن دارد. اکنون روشی برای بررسی کارایی لرزه ای تاسیسات آبرسانی با استفاده از مفهوم سطح شکست ارائه می شود. با استفاده از این روش می توان احتمال شکست این سیستم ها را تخمین زد. اطلاعات مورد نیاز برای این روش عبارتند از: ۱- بزرگی گشتاور لرزه ای ۲- فاصله محل تا منبع زلزله برای هر یک از اجزای سیستم ۳- خواص خاک در مکان هایی که هر یک از اجزای شبکه آبرسانی قرار دارد. ۴- اطلاعات شکست برای هر یک از اجزای سیستم ۵- ضوابط و معیارهای کارایی شبکه

نمونه ای از سطح شکست تولید شده برای یک لوله تحت امواج لرزه ای در نمودار () نشان داده شده است. فرض می شود که کرنش مجاز لوله ۰.۰۲۵٪ ، جنس لوله از آهن با مدول الاستیسیته ksi ۲۹۰۰۰ ، قطر ۱۲ اینچ و ضخامت ۰/۵ اینچ می باشد. مرکز لوله ۴ فوت پایین تر از سطح خاک قرار گرفته ، خاک از نوع سخت با وزن واحد pcf ۱۲۰ ، زاویه اصطکاک ۳۰ درجه ، ضریب فشار جانبی اعمال شده از سوی زمین $K_0=1$ و زاویه میان انتقال موج و لوله برابر صفر است.

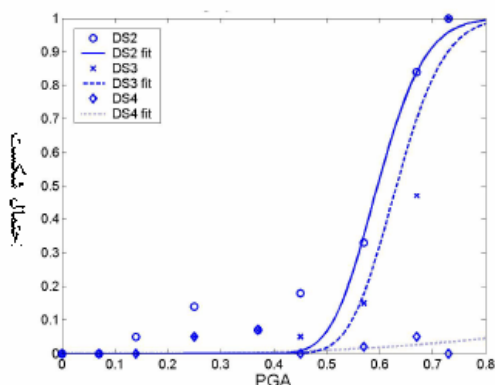


تصویر (۱۱) - سطح شکست یک لوله تحت اثر بار زلزله

با استفاده از آیین نامه شریانهای حیاتی آمریکا (ALA2001) می توان داده های شکست را برای دو جز سیستم های آبرسانی یعنی مخازن و تونل ها بدست آورد. جداول (۳) و (۴) داده های پایه بترتیب مربوط به مخازن و تونل ها را نشان می دهد. نمونه ای از سطح شکست مخازن و لوله های مدفون در نمودارهای (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است.



نمودار (۱۲) - منحنی شکست برای مخازن



نمودار (۱۳) - منحنی شکست برای لوله های مدفون

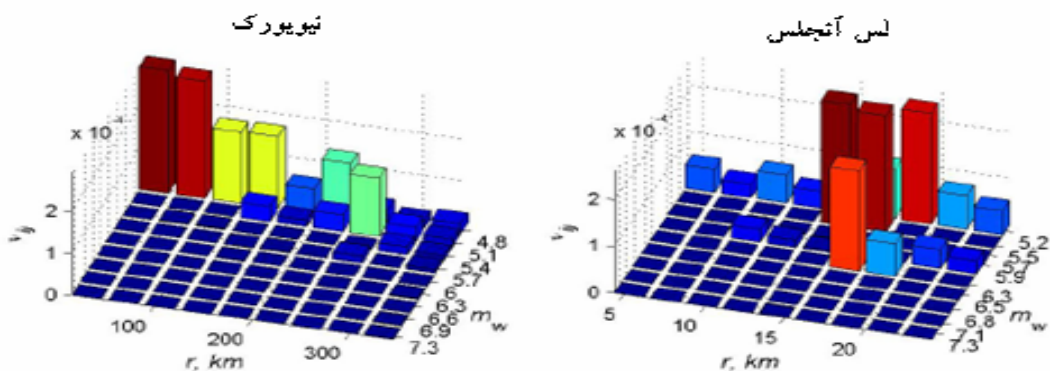
$PGA(g)$	کلیه مخازن	$DS = 1$	$DS = 2$	$DS = 3$	$DS = 4$	$DS = 5$
۰/۱۰	۴	۴	۰	۰	۰	۰
۰/۱۶	۲۶۳	۱۹۶	۴۲	۱۳	۸	۴
۰/۲۶	۶۲	۳۱	۱۷	۱۰	۴	۰
۰/۳۶	۵۳	۲۲	۱۹	۸	۳	۱
۰/۴۷	۴۷	۳۲	۱۱	۳	۱	۰
۰/۵۶	۵۳	۲۶	۱۵	۷	۳	۲
۰/۶۷	۲۵	۹	۵	۵	۳	۳
۰/۸۷	۱۴	۱۰	۰	۱	۳	۰
۱/۱۸	۱۰	۱	۳	۰	۰	۶
کل	۵۳۱	۳۳۱	۱۱۲	۴۷	۲۵	۱۶

جدول (۳) - داده های پایه برای مخازن

$PGA(g)$	کلیه مخازن	$DS = 1$	$DS = 2$	$DS = 3$	$DS = 4$
۰/۰۷	۳۰	۳۰	۰	۰	۰
۰/۱۴	۱۹	۱۸	۱	۰	۰
۰/۲۵	۲۲	۱۹	۲	۰	۱
۰/۳۷	۱۵	۱۴	۰	۰	۱
۰/۴۵	۴۴	۳۶	۶	۲	۰
۰/۵۷	۶۶	۴۴	۱۲	۹	۱
۰/۶۷	۱۹	۳	۷	۸	۱
۰/۷۳	۲	۰	۰	۲	۰
کل	۲۱۷	۱۶۴	۲۸	۲۱	۴

جدول (۴) - داده های پایه برای لوله های مدفون

در تصاویر (۱۲) و (۱۳) ماتریس فعالیت که معرف نرخ وقوع سالانه زلزله می باشد برای شهرهای نیویورک و لس آنجلس نمایش داده شده است.



نمودارهای (۱۲) و (۱۳) - ماتریس فعالیت شبکه آبرسانی شهرهای لس آنجلس و نیویورک

۶- پیشنهاد برای تحقیقات آینده

بررسی شکست شبکه های آبرسانی با استفاده از داده های بدست آمده از اجزای آنها صورت می گیرد. پیشنهاد می شود پژوهش هایی درباره موضوعات زیر انجام شود:

- ۱- تحلیل عملکرد هیدرولیکی شبکه های آبرسانی هنگام وقوع زلزله و پس از آن
- ۲- تعیین سطح شکست برای کل سیستم آبرسانی
- ۳- بررسی مناسب بودن عملکرد شبکه آبرسانی در برخی شرایط خاص

۴- بدست آوردن n حالت آسیب وارده به سیستم های آبرسانی به ازای بزرگای زلزله معین m وفاصله محل تا منبع زلزله r با توجه به داده های شکست اجزای شبکه

۷- نتیجه گیری

شبکه های آبرسانی یکی از شریان های مهم حیاتی بوده که سالم ماندن آنها پس از وقوع زلزله از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. ولی متأسفانه در کشور ما تا بحال به این مساله توجه چندانی نشده است و در گزارشاتی که پس از وقوع زلزله ها منتشر می شود به این سازه ها کمتر توجه می شود. در کشورهای لرزه خیز دنیا تحقیقات فراوانی صورت گرفته است که لزوم استفاده از این تجربیات در کشور ما با توجه به زلزله خیز بودن کشورمان ضروری به نظر می رسد.

منابع و مراجع

- 1- ALA (2001): American lifelines alliance. *Seismic Fragility Formulations for Water Systems*. ASCE.
- 2-Mavroicidis GP, Papageorgiou AS (2003): A mathematical representation of near-fault ground motions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **93** (3), 1099-1131
- 3-O'Rourke TD, Grigoriu MD, and Khater MM (1985): Seismic response of buried pipelines, *Pressure Vessel and Piping Technology - A Decade of Progress*. C. Sundararajan, Ed., ASME, New York, NY, 281-323.
- 4-Papageorgiou AS, Aki K (1983a): A specific barrier model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion. Part I, description of the model. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **73** (3), 693-722
- 5-Papageorgiou AS, Aki K (1983b): A specific barrier model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion. Part II, application of the model. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **73** (4), 953-978
- 6-Barlett S. and Youd T.(1995): Empirical Prediction of Liquefaction-Induced Lateral Spreads. *J.Geotech.Engrg., ASCE 121(4)*, 316-329.
- 7-Hwang H., Lin H., and Shinozuka M. (1998): Seismic Performance Assessment of Water Delivery System. *Journal of Infrastructure Systems 4(3)*, 118-125.
- 8-Jacobson A. (2004): Fragility Analysis of Water Supply Systems. Master's thesis, Cornell University, Ithaca, NY, USA.
- 9-Jibson R.W. and Keefer D.K. (1993): Analysis of the Seismic Origin of Landslides: Examples from the New Madrid Seismic Zone. *Geological Society of America Bulletin 105*, 521-536.
- 10-Kafali C. and Grigoriu M. (2003): Non-Gaussian Model for Spatially Coherent Seismic Ground Motions. *Proceedings of the 9th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*, San Francisco, CA, 321-327.
- 11-Papageorgiou A.S. and Aki K. (1983a): A Specific Barrier Model for the Quantitative Description of Inhomogeneous Faulting and the Prediction of Strong Ground Motion. Part I: Description of the Model. *Bulletin of the Seismological Society of America 73(3)*, 693 722.
- 12-Papageorgiou A.S. and Aki K (1983b): A Specific Barrier Model for the Quantitative Description of Inhomogeneous Faulting and the Prediction of Strong Ground Motion. Part II: Application of the Model. *Bulletin of the Seismological Society of America 73(4)*, 953-978.
- 13-Papageorgiou A.S. (1988): On Two Characteristic Frequencies of Acceleration Spectra: Patch Corner Frequency and $\max f$. *Bulletin of the Seismological Society of America 78(2)*, 509-528.
- 14-Selçuk A. and Yücemem M. (1999): Reliability of Lifeline Networks Under Seismic Hazards. *Reliability Engineering and System Safety 65*, 213-227.
- 15-Selçuk A. and Yücemem M. (2000): Reliability of Lifeline Networks With Multiple Sources Under Seismic Hazards. *Natural Hazards 21*, 1-18.